

ВЛИЯНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ НА ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ БЕРИЛЛИЕВОЙ БРОНЗЫ

Н. В. ТЕРЮКАЛОВА^{1,2}, О. В. СИЗОВА²

¹Томский политехнический университет

²Институт физики прочности и материаловедения СО РАН

E-mail: natali.teryukalova@gmail.com

Бериллиевая бронза совмещает высокую прочность с немагнитными свойствами и высокую теплопроводностью. Основные функциональные свойства изделий из бронзы обеспечиваются в результате их термической обработки - закалки и старения. Формирование структуры бронзы различного состава в процессе термической обработки и ее влияние на прочностные свойства исследованы достаточно подробно, но в отношении выявления структурных аспектов, влияющих на износостойкость бронз, в том числе и при воздействии электрического тока, сведений недостаточно [1].

В настоящей работе исследовали трибологические характеристики бериллиевой бронзы БрБ2 в зависимости от ее структурного состояния, в том числе, в условиях токосяема. Для исследований были взяты цилиндрические образцы бериллиевой бронзы БрБ2 высотой 8,0 мм и диаметром 5 мм, которые подвергали закалке от 800⁰С в воде, а также закалке с последующим старением при 315⁰С в течение 2 часов. Металлографические исследования проводили на лазерно-конфокальном микроскопе «LEXT OLS4000», частицы износа анализировали с помощью растрового электронного микроскопа Philips SEM 515 с энергодисперсионным рентгеновским микроанализатором «Genesis». Трибологические испытания образцов проводили на триботестере фирмы «TRIBOtechnic» (Франция) при нагрузке $P = 20\text{ Н}$ и скорости скольжения $V = 0,1\text{ м/с}$ в течение 4 часов. Скольжение осуществляли в воздушной среде при комнатной температуре без смазки по схеме «диск-палец», контртелом служил закаленный высокохромистый сплав 95X18 (AISI 440B) твердостью 50 HRC. Трение бериллиевой бронзы с наложением переменного электрического тока проводили без смазки по схеме «вал – вкладыш» на машине трения СМТ-1 при тех же параметрах нагружения и скорости скольжения. Плотность электрического тока составляла 5,1 А/см². Контртелом служила закаленная сталь Ст45 (AISI 1045) твердостью 45 HRC. Время испытания составило 4 часа. В процессе испытания автоматически регистрировали момент трения, после чего вычисляли силу трения и коэффициент трения. Потерю массы образца Δm (г) определяли с помощью электронных весов с точностью 0,1 мг. Скорость изнашивания рассчитывали по формуле:

$$I = \Delta m / t, \quad (1)$$

где: Δm – потеря массы образца, г; t – время испытаний, час. Износостойкость W определяли как обратную величину скорости изнашивания:

$$W = 1/I. \quad (2)$$

Результаты измерения весового износа (Δm) и средних значений коэффициента трения (f_{mp}), исследуемых образцов, приведены в таблице 1. Из таблицы видно, что коэффициенты сухого трения различаются незначительно.

Таблица 1 – Износ и коэффициенты трения исследуемых образцов сплава Cu-Be

Плотность тока, А/см ²	Закалка		Закалка + старение	
	Δm , г	f_{mp}	Δm , г	f_{mp}
0	0,0278	0,45	0,0462	0,44
5,1	0,0366	0,41	0,0514	0,39

Из рисунка 1 следует, что износостойкость закаленного образца значительно снижается при пропускании электрического тока через трибосопряжение, тогда как у состаренного образца износостойкость снижается незначительно. В работе [2] показано, что влияние электрического тока обуславливает снижение прочностных свойств медных

сплавов за счет выделения джоулева тепла, тем самым, уменьшая износостойкость. Для состаренных сплавов при небольшой плотности тока это влияние сказывается в меньшей степени.

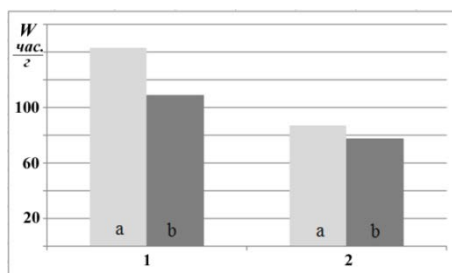


Рисунок 1 – Износостойкость БрБ2 при трении скольжения без тока (a) и с током (b)
1 – закаленное состояние, 2 – состаренное

На рисунке 2 представлены РЭМ-изображения структуры поперечного сечения образцов после испытаний на трение и частицы износа. Наличие следов скольжения у закаленных образцов в результате трения, как показано на рисунке 2 а, свидетельствует о деформировании тонкого поверхностного слоя и, соответственно, его упрочнении. Этот факт косвенно указывает на способность сплава противостоять износу при небольших нагрузках. В структуре состаренной бериллиевой бронзы отсутствовали явные признаки деформационного упрочнения, что соответствует рисунку 2 б.

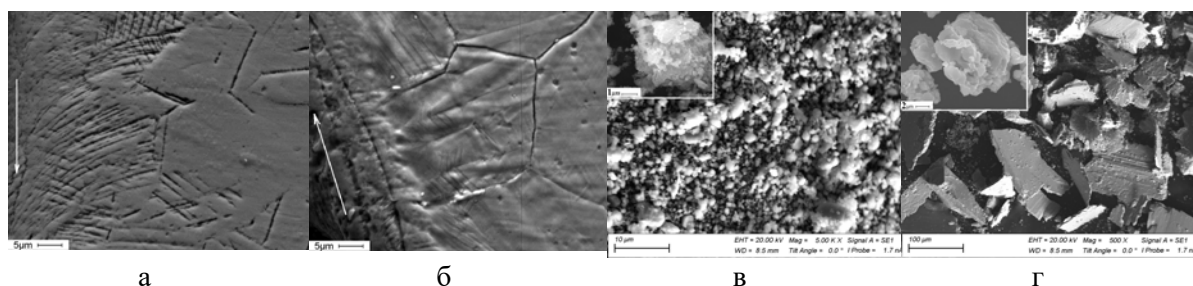


Рисунок 2 - Микрофотографии структуры поперечного сечения образцов бериллиевой бронзы БрБ2 и вид частиц износа после испытаний на трение: а, в – закаленный образец; б, г – образец после закалки и старения

У закаленных образцов при трении с током и без него изнашивание происходило путем отделения с поверхности трения ультрадисперсных частиц преимущественно сферической формы, которые затем объединялись в конгломераты, как показано на рисунке 2 в. Микроанализ частиц износа показал, что они представляют собой оксиды меди, то есть механизм изнашивания является коррозионно-механическим. Изнашивание состаренного образца бериллиевой бронзы происходило по адгезионному механизму, в результате чего имело место отделение фрагментов сплава различных размеров и формы, что соответствует рисунку 2 г. Анализ элементного состава этих частиц показал, что он совпадает с составом основного сплава. Присутствовал также кислород, который образуется на поверхности меди при трении. Отметим, что морфология частиц износа одинакова как при трении без электрического тока, так и при наложении электрического тока.

Список литературы

1. Altunpak Y. Wear behaviour of aged Cu-Be alloy under electrical sliding // Scientific Research and Essays. – 2010, (5), № 19, 2997-3002.
2. Kwok C. T., Wong P. K., Man H.C. and Cheng F.T. Sliding wear and corrosion resistance of copper-based overhead catenary for traction systems // Int. J. Railw. – 2010 (3), №. 1, 19–27.